

## 短繊維補強軽量 2 種コンクリートの引張軟化特性

九州大学大学院 学生会員 ○梶原秀夫 崔智宣  
九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 正会員 山口浩平 柴田博之

### 1. 目的

軽量コンクリートは普通コンクリートと比較して引張、せん断強度が劣るが、短繊維補強により力学特性および靱性の改善が期待される。著者らは、これまでに短繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いたコンクリート部材のせん断耐力に関する研究を行ってきた。これより、軽量化の影響に関しては強度評価式を用いて評価可能であったが、短繊維補強の効果に関しては評価できていない。一方で、コンクリートの引張軟化特性はせん断耐力の評価に際して非常に重要なパラメータであると考えられる。そこで、本研究では短繊維補強軽量 2 種コンクリートの曲げ試験および多直線近似法による逆解析を行い、引張軟化特性について検討した。

### 2. 曲げ試験

#### 2.1 試験体および試験方法

表 - 1 に使用材料を、表 - 2 に短繊維の材料特性を示す。試験体は表 - 3 に示すようにコンクリート、短繊維種類および混入率をパラメータとし、計 18 タイプを各 4 体以上製作した。同表には単位容積質量および強度特性を載せている。表 - 4 に示方配合の一例を示す。短繊維を混入する場合は細骨材および粗骨材で置換を行った。試験体は 100×100×400mm 角柱試験体の中央部に幅 3.2mm、深さ 30mm の切欠きを設けた。曲げ試験は

表 - 1 使用材料

| 材料種類    | 詳細           | 記号  | 性質                                                   |
|---------|--------------|-----|------------------------------------------------------|
| セメント    | 普通ポルトランドセメント | C   | 密度:3.16g/cm <sup>3</sup>                             |
| 普通細骨材   | 海砂           | 普通S | 表乾密度:2.58g/cm <sup>3</sup>                           |
| 普通粗骨材   | 砕石           | 普通G | 表乾密度:2.88g/cm <sup>3</sup><br>G <sub>max</sub> :20mm |
| 人工軽量細骨材 | アサノライト       | 軽量S | 絶乾密度:1.68g/cm <sup>3</sup>                           |
| 人工軽量粗骨材 |              | 軽量G | 絶乾密度:1.27g/cm <sup>3</sup><br>G <sub>max</sub> :15mm |
| 混和剤     | 高性能AE減水剤     | SP  | ポリカルボン酸系                                             |
|         | AE剤          | AE  | -                                                    |
|         | 増粘剤          | B   | ビオポリー                                                |

表 - 2 短繊維の材料特性

| 繊維種別       | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 繊維長<br>(mm) | 繊維径<br>(μm) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング率<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|----------------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|
| ビニロン(V)    | 1.30                       | 30          | 660         | 900                          | 23                            |
| ポリエチレン(PE) | 0.97                       | 30          | 68          | 1870                         | 43                            |
| 鋼(ST)      | 7.85                       | 30          | 620         | 1000                         | 200                           |

JCI「切欠きはりを有いた繊維補強コンクリートの荷重

- 変位曲線試験方法」<sup>3)</sup>に準じて行い、測定項目は載荷荷重、載荷点鉛直変位およびひび割れ開口変位(以下、CMOD)とした。

### 2.2 結果

図 - 1 に各短繊維で補強した軽量 2 種コンクリート(以下、SL)の荷重 - CMOD 関係を示す。図中には各タイプ 4 体以上の試験体の平均値を示している。平均値は同じ CMOD に対する荷重を平均したものである。同図より、各短繊維補強試験体は最大荷重到達後、一旦荷重が低下するが、混入率の大きいほどその低下率は小さくなり、大幅に靱性が改善された。またビニロンおよびポリエチレンについては最大荷重到達後、一旦荷重が低下するものの再び荷重が増加する硬化現象が見られた。

### 3. 引張軟化特性

#### 3.1 引張軟化曲線の推定

曲げ試験から得られた荷重 - CMOD 関係から多直線近似法を用いて引張軟化曲線の推定を行った。引張軟化曲線の推定にはJCIで公開されている逆解析プログラム

表 - 3 試験体概要および強度特性

| タイプ      | コンクリート | 繊維 | 混入率<br>(%) | 単位容積質量<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|--------|----|------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| N-00     | N      | なし | 0.0        | 2.44                           | 35.2                         | 2.55                         | 32.7                           |
| N-V-05   |        | V  | 0.5        | 2.41                           | 32.3                         | 3.13                         | 28.5                           |
| N-V-10   |        |    | 1.0        | 2.41                           | 36.5                         | 3.24                         | 29.2                           |
| N-V-15   |        |    | 1.5        | 2.38                           | 41.8                         | 4.43                         | 31.3                           |
| N-PE-05  |        | PE | 0.5        | 2.31                           | 36.8                         | 3.04                         | 28.6                           |
| N-PE-10  |        |    | 1.0        | 2.33                           | 39.0                         | 3.60                         | 25.1                           |
| N-ST-04  |        | ST | 0.4        | 2.33                           | 32.7                         | 2.99                         | 29.7                           |
| N-ST-08  |        |    | 0.8        | 2.31                           | 35.0                         | 3.26                         | 30.3                           |
| N-ST-12  |        |    | 1.2        | 2.35                           | 32.5                         | 3.84                         | 27.0                           |
| SL-00    |        | なし | 0.0        | 1.65                           | 40.3                         | 1.89                         | 15.2                           |
| SL-V-05  |        | V  | 0.5        | 1.64                           | 44.5                         | 3.20                         | 17.3                           |
| SL-V-10  |        |    | 1.0        | 1.67                           | 50.7                         | 4.29                         | 17.6                           |
| SL-V-15  |        |    | 1.5        | 1.60                           | 43.6                         | 4.07                         | 15.0                           |
| SL-PE-05 | SL     | PE | 0.5        | 1.61                           | 45.7                         | 2.68                         | 15.5                           |
| SL-PE-10 |        |    | 1.0        | 1.54                           | 40.6                         | 3.57                         | 14.7                           |
| SL-ST-04 |        | ST | 0.4        | 1.66                           | 40.7                         | 3.06                         | 16.8                           |
| SL-ST-08 |        |    | 0.8        | 1.70                           | 41.9                         | 3.26                         | 14.4                           |
| SL-ST-12 |        |    | 1.2        | 1.69                           | 44.3                         | 4.04                         | 15.5                           |

表 - 4 示方配合一例

| タイプ      | スランブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |
|----------|--------------|------------|------------|------------|--------------------------|-----|-----|-----|
|          |              |            |            |            | W                        | C   | S   | G   |
| N(V,PE)  | 10           | 4.5        | 50.0       | 47.0       | 190                      | 380 | 782 | 984 |
| N(ST)    |              |            |            |            | 211                      | 422 | 740 | 932 |
| SL(V,PE) | 18           | 5.0        | 45.0       | 58.0       | 190                      | 422 | 610 | 334 |
| SL(ST)   |              |            |            |            | 220                      | 489 | 561 | 307 |

<sup>3)</sup>を用いた。多直線近似法は仮想ひび割れモデルを用い

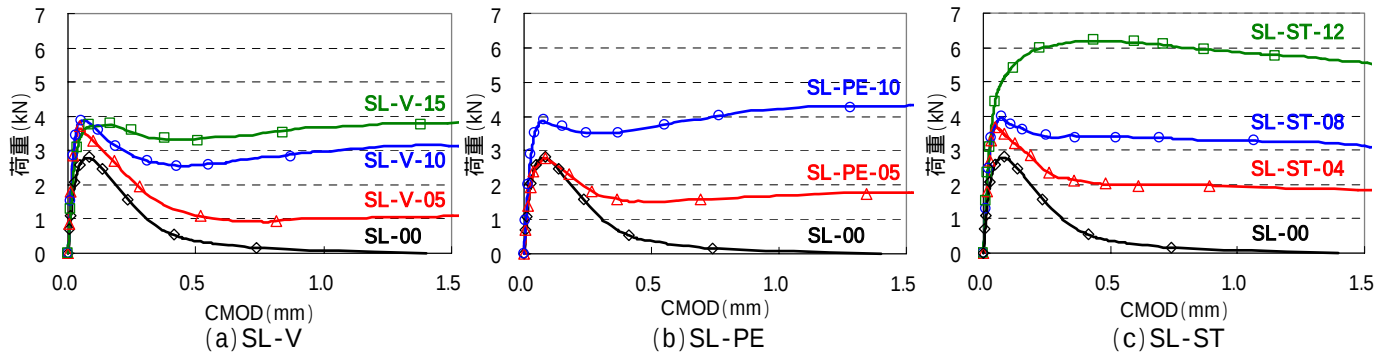


図 - 1 荷重-CMOD 関係

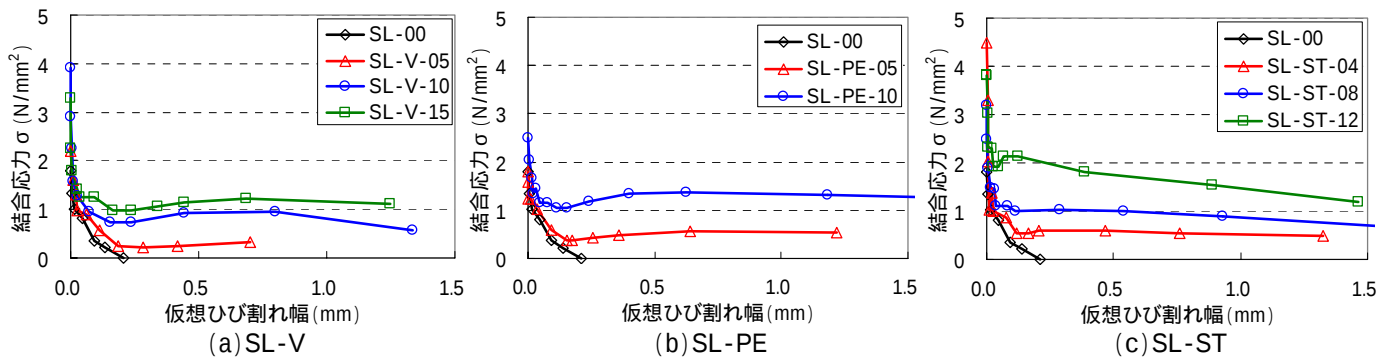


図 - 2 引張軟化曲線

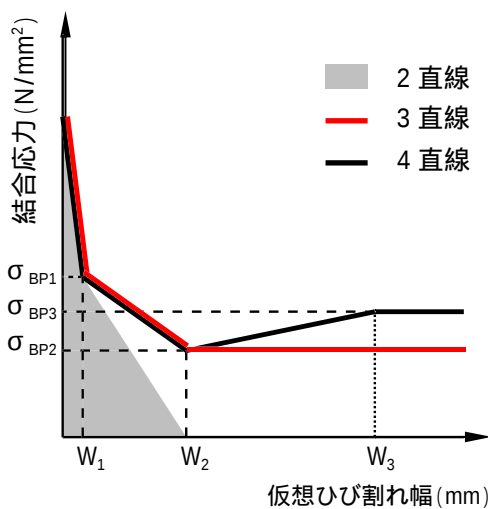


図 - 3 引張軟化曲線モデル

たひび割れ進展解析において、ひび割れを進展させるごとに、構成則として用いる引張軟化曲線の先端の勾配を変化させ、荷重-変位関係の試験結果と解析値が一致するように引張軟化曲線の勾配を決定し、順次この操作を繰り返すことで引張軟化曲線全体を推定するものである。図 - 2 に SL の荷重 - CMOD 関係の解析結果を、図 - 3 に引張軟化曲線を示す。図 - 2 より、最大荷重および最大荷重以降の挙動に関して試験値と解析値はよく一致していることが確認された。また、図 - 3 に示す引張軟化曲線は図 - 2 の荷重 - CMOD 関係において見られた硬化現象が再現されている。

### 3.2 引張軟化曲線のモデル化

図 - 3 に示した引張軟化曲線を簡易的に表現するためにモデル化を検討する。一般的に、短繊維無補強コンク

リートの引張軟化曲線は 2 直線でモデル化される。また、その折曲がり点応力は軟化開始点応力の 1/4 としたものが多い。一方で、短繊維補強コンクリートに関しては 2 直線で表すことができない。そこで、東山らの研究<sup>4)</sup>を参考にモデル化を検討した。図 - 4 に引張軟化曲線のモデルを示す。同図に示すように、短繊維無補強コンクリートについては 2 直線（色付部分）、短繊維補強コンクリートは 3 直線および 4 直線でモデル化を検討した。各折曲がり点については今後検討する。

### 4. まとめ

本研究では、各種短繊維補強軽量 2 種コンクリートの引張軟化特性について検討を行った。切欠きはりを設けた曲げ試験を行い、得られた結果から多直線近似法を用いて引張軟化曲線の推定を行った。今後、得られた引張軟化曲線を簡易的に表現するためのモデル化を検討する予定である。

謝辞 太平洋セメント（株）、（株）クラレ、東洋紡績（株）から材料を提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。参考文献:

- 1) 崔智宣ほか: 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC はりのせん断耐力評価に関する一考察, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, pp.1273-1278, 2010
- 2) 崔智宣ほか: 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力評価, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-100, pp.199-200, 2010.9
- 3) JCI 規 準・指 針: JCI-S-001-2003, 切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法 JCI-S-002-2003
- 4) 東山浩士ほか: ポリプロピレン繊維補強軽量コンクリートの引張軟化特性, 「材料」Vol.57, No.1, pp.90-96, 2008